

540776

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年 8 月 12 日 (12.08.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/068205 A1(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G02B 6/12

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016515

(22) 国際出願日: 2003 年 12 月 24 日 (24.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願 2002-378438  
2002 年 12 月 26 日 (26.12.2002) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立  
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND  
TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉  
県 川口市 本町四丁目 1 番 8 号 Saitama (JP). 松下電工  
株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD.)  
[JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1 0 4 8 番  
地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 野田 進  
(NODA, Susumu) [JP/JP]; 〒611-0011 京都府 宇治  
市 五ヶ庄 京大職員宿舎 2 3 1 号 Kyoto (JP). 浅野  
卓 (ASANO, Takashi) [JP/JP]; 〒615-8104 京都府 京  
都市 西京区 川島五反長町 6 5-3 桂第二合同宿

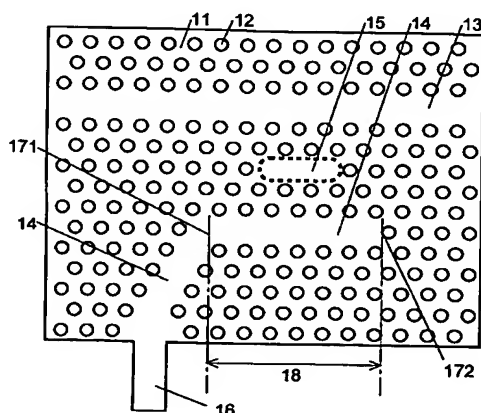
舎 2-1 0 8 Kyoto (JP). 高野 仁路 (TAKANO, Hitomichi) [JP/JP]; 〒571-8686 大阪府 門真市 大字門真 1 0 4 8 番地 松下電工株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 小林 良平 (KOBAYASHI, Ryohei); 〒600-8091  
京都府 京都市 下京区 東洞院通四條下ル元悪王子  
町 3 7 豊元四條烏丸ビル 7 階 小林特許商標事務所  
Kyoto (JP).(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,  
BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,  
DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,  
LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ,  
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS,  
MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特  
許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッ  
パ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,  
TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC FREQUENCY FILTER

(54) 発明の名称: 電磁波周波数フィルタ



(57) Abstract: An electromagnetic frequency filter comprises a resonator (15) which is arranged between and close to an input waveguide (13) and an output waveguide (14) and resonant with an electromagnetic wave of a certain frequency. The output waveguide (14) is so formed that it is parallel to the input waveguide (13) in a certain area (18) near the resonator (15) while it is at a farther distance from the input waveguide (13) in the area other than the certain area (18) when compared with the distance between the two waveguides in the certain area (18). This electromagnetic frequency filter can be preferably formed using a two-dimensional photonic crystal.

[続葉有]

WO 2004/068205 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

(57) 要約:

入力導波路13と出力導波路14との間に、両導波路に近接して、所定の周波数の電磁波に共振する共振器15を設けた電磁波周波数フィルタにおいて、共振器15の近傍の所定範囲18では出力導波路14を入力導波路13と平行とするとともに、それ以外の範囲では入力導波路13と出力導波路14との間の距離が所定範囲18内におけるそれよりも長くなるように出力導波路を形成した。

この電磁波周波数フィルタは、2次元フォトニック結晶を用いて好適に構成することができる。

## 明細書

### 電磁波周波数フィルタ

#### 技術分野

本発明は、所定の周波数の光や電磁波を導波路から取り出す周波数フィルタに関する。この周波数フィルタは光通信の分野等において用いられる。

#### 背景技術

光通信においては、単位時間に送信できる情報量を増大させるために、一本の伝送路に複数の波長(周波数)の光を伝播させ、それぞれに別個の信号を乗せる波長分割多重方式が用いられている。この波長分割多重方式においては、伝送路の入口側で各波長の光を混合し、混合された光を出口側で各波長ごとに取り出す。そのために、光の合波器及び分波器、あるいは波長フィルタ(周波数フィルタ)が必要となる。

そのような分波器として、現在はアレイ導波路回折格子が用いられている。しかし、アレイ導波路回折格子では通常、石英系光導波路を用いており、光の損失を小さくするために現状では数cm角程度の大きなものを用いざるを得ない。そこで、分波器の小型化を図るために、フォトニック結晶を用いた周波数フィルタが検討されている。

フォトニック結晶とは周期屈折率分布をもった光学機能材料であり、光子のエネルギーに対してバンド構造を形成する。特に、光の伝播が不可能となるエネルギー領域(フォトニックバンドギャップ)が形成されることが特徴である。このフォトニック結晶中に適切な欠陥を導入することにより、フォトニックバンドギャップ中にこの欠陥によるエネルギー準位(欠陥準位)が形成される。これによって、上記フォトニックバンドギャップ中のエネルギーに対応する周波数範囲のうち、欠陥準位のエネルギーに対応する周波数の光のみが存在可能になる。結晶中の上記欠陥を線状にすれば所定の周波数の光を伝播する光導波路となり、結晶中の欠陥を点状にすれば所定の周波数の光に共振する光共振器となる。

特開2001-272555号公報（以下、特許文献1とする）には、円柱孔を三角格子状に周期的に配列することによって周期屈折率分布を設けた2次元フォトニック結晶において、この円柱孔を線状に欠損させることによって導波路を形成し（[0025]、図1）、導波路近傍に点欠陥を形成する（[0029]、図1）ことが記載されている。特許文献1においては、実施例として周期的に配列された円柱孔の径を大きくすることによって形成される点欠陥について検討している。この構成によって、導波路を伝播する光のうち点欠陥の共振周波数を有する光を外部に取り出す分波器、及び点欠陥の共振周波数を有する光を外部から導波路に導入する合波器が作製される。

また、特開2003-279764号公報（特許文献2）には、周期屈折率分布を形成する異屈折率領域のうち隣接する2個以上の異屈折率領域を欠陥とすることによってクラスタ欠陥を形成することが記載されている。ここで異屈折率領域の欠陥は、その異屈折率領域の屈折率を他の異屈折率領域の屈折率と異なるものとすることによって形成する。他の異屈折率領域よりも屈折率が高いものをドナー型欠陥、低いものをアクセプタ型欠陥と呼ぶ。前記特許文献1に記載の、円柱孔を大きくすることによって形成する欠陥はアクセプタ型欠陥であり、異屈折率領域を設けないことによって形成する欠陥はドナー型欠陥である。クラスタ欠陥と、1個の異屈折率領域のみを欠損させて形成される点欠陥とを総称して「点状欠陥」と呼ぶ。

特許文献2には更に、それぞれ異なる周期で異屈折率領域を配置した複数の禁制帯領域を有し、それぞれの禁制帯領域に点状欠陥を設けた面内ヘテロ構造2次元フォトニック結晶が記載されている。これにより、各禁制帯領域に同じ形状の点状欠陥を設けた場合にも、異屈折率領域の周期の違いにより、各点状欠陥はそれぞれ異なる周波数の光に共振する。

特許文献1及び2の波長分合波器においては、点状欠陥を介して導波路と外部との間で光の導入及び取り出しを行っている。一方、特表2001-508887号公報（特許文献3）には、2次元フォトニック結晶内に2つの直線導波路を設け、この2つの直線導波路の間に点状欠陥を設ける（特許文献3の図3及び図8参照）ことが記載されている。この構成によって、点状欠陥の共振周波数を有する光を一方の導波路から他方の導波路に導入する。これは合波器となる。また、一方の導波路に

複数の周波数が重畳した光を伝播させ、そこから所定の周波数の光のみを他方の導波路に取り出す分波器ともなる。

導波路と点状欠陥の間の距離を、両者の間で光の授受が行われる程度に小さくすると、2つの導波路間においても光の授受が行われる。このため、特許文献3の構成においては、点状欠陥以外の位置において2つの導波路間で所定の周波数以外の成分も含む光の授受が生じ、信号のクロストークが起こるという問題があった。

ここまでは2次元フォトニック結晶を用いた光分波器及び光合波器を例として述べたが、光のみならず電磁波に対しても同様であり、また、2次元フォトニック結晶以外の構成を有する光周波数フィルタ(波長フィルタ)や電磁波周波数フィルタにおいても同様の問題が生じる。なお、以下において「電磁波」と記載した場合には、光を含むものとする。

本発明はこのような課題を解決するために成されたものであり、その目的とするところは、2つの導波路間で所定の周波数の電磁波を高い効率で授受することができる電磁波周波数フィルタを提供することにある。

#### 発明の開示

上記課題を解決するために成された本発明に係る電磁波周波数フィルタは、

- a) 電磁波を導波する入力導波路と、
  - b) 電磁波を導波する導波路であって、その長手方向の所定の範囲における前記入力導波路との距離が前記所定範囲外における前記入力導波路との距離よりも小さくなるように配置される出力導波路と、
  - c) 前記入力導波路と出力導波路との間の前記所定範囲内に配置され、所定の周波数の電磁波に共振する共振器と、
- を備えることを特徴とする。

この電磁波周波数フィルタは、2次元フォトニック結晶を用いて構成することができる。本発明に係る2次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタは、

- a) スラブ状の本体に周期的に配列された複数の、本体とは屈折率の異なる領域

を設けた 2 次元フォトニック結晶と、

b) 前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成される入力導波路と、

c) 前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成される導波路であって、その長手方向の所定の範囲における前記入力導波路との距離が前記所定範囲外における前記入力導波路との距離よりも小さくなるように配置される出力導波路と、

d) 前記入力導波路と出力導波路との間の前記所定範囲内に配置され、所定の周波数の電磁波に共振する点状欠陥から成る共振器と、  
を備えることを特徴とする。

また、この電磁波周波数フィルタは、面内ヘテロ構造を有する 2 次元フォトニック結晶を用いて構成することもできる。本発明に係る面内ヘテロ構造を有する 2 次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタは、

a) スリブ状の本体内に 2 以上の禁制帯領域を設け、各禁制帯領域内において、各禁制帯領域毎に異なる周期で周期的に本体に配列された複数の、本体とは屈折率の異なる領域を設けた面内ヘテロ構造 2 次元フォトニック結晶と、

b) 各禁制帯領域内において前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成され、全禁制帯領域を通過する入力導波路と、

c) 各禁制帯領域毎に前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成される導波路であって、その長手方向の所定の範囲における前記入力導波路との距離が前記所定範囲外における前記入力導波路との距離よりも小さくなるように配置される出力導波路と、

d) 前記入力導波路と出力導波路との間の前記所定範囲内に配置され、所定の周波数の電磁波に共振する点状欠陥から成る共振器と、  
を備えることを特徴とする。

この面内ヘテロ構造 2 次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタにおいて、各禁制帯領域における入力導波路の透過周波数帯域の一部が、その禁制帯領域の一方の側にある全ての禁制帯領域の入力導波路透過周波数帯域に含まれず、それとは反対側にある全ての禁制帯領域の入力導波路透過周波数帯域に含ま

れ、各禁制帯領域に設けられる前記共振器における共振周波数が、前記一部の透過周波数帯域に含まれることが望ましい。

以下、上記発明について詳しく説明する。

(1) 本発明に係る電磁波周波数フィルタ

本発明の電磁波周波数フィルタは、入力導波路と出力導波路との間に、特定の1周波数成分の電磁波に共振する共振器を有する。この電磁波周波数フィルタがこれら3つの構成要素を備えることは特許文献3の電磁波周波数フィルタと同様であるが、本発明においては、これら3つの位置関係に特徴を有する。それは、入力導波路と出力導波路の間の距離が、所定の範囲において最も小さくなるようにし、この所定範囲内の入力導波路と出力導波路との間に共振器を設けることである。

このような構成とする理由は以下の通りである。この電磁波周波数フィルタにおいては、入力導波路と共振器とがエネルギー的に結合し、同様に共振器と出力導波路とがエネルギー的に結合することにより、入力導波路と出力導波路との間で共振器の共振周波数を有する電磁波を授受する。授受される電磁波の強度を大きくするためには、入力導波路－共振器間及び共振器－出力導波路間の距離を小さくしエネルギー的な結合を強くすることが望ましい。そのため、共振器の存在する範囲においては、入力導波路と出力導波路の間の距離は小さい方が望ましい。一方、入力導波路と出力導波路の間の距離を小さくすると、共振器を介さずに直接授受される電磁波の強度が増加する。これは、共振器の共振周波数以外の周波数を有する電磁波も授受されるため望ましくない。それを避けるため、共振器が存在する範囲以外においては、入力導波路と出力導波路の間の距離は広い方が望ましい。これら2つの条件を共に満たすために、本発明の電磁波周波数フィルタは前記の構成とした。

この構成により、入力導波路から出力導波路に所定の周波数の電磁波を分波する分波器として用いることができる。この分波器と同じ構成の電磁波周波数フィルタを、分波器における「出力導波路」から「入力導波路」に所定の周波数の電磁波を導入する合波器として用いることもできる。この場合、分波器の「出力導波路」が合波器の入力導波路となり、分波器の「入力導波路」が合波器の出力導

波路となる。なお、本明細書において「入力導波路」及び「出力導波路」は、別段の記載がない場合には分波器の入力導波路及び出力導波路を指す。

本発明の入力導波路及び出力導波路の典型的な構成として、入力導波路、出力導波路のいずれか一方又は両方が前記所定範囲の境界において角度をもって屈曲する形状を有するものを挙げることができる。また、屈曲部を設けず、入力導波路、出力導波路のいずれか一方又は両方を所定範囲外において滑らかに曲げるようにしてもよい。

屈曲部においては、導波路の前記所定範囲を通過する電磁波の全てが通過するとは限らない。屈曲部を透過する電磁波の透過率の周波数依存性は、導波路の前記所定範囲における電磁波の透過率の周波数依存性とは異なり、屈曲部の構造に依存する。これを利用して、屈曲部の構造を最適化し、共振器の共振周波数が、所定の値以上の透過率を有する高透過率周波数帯域に含まれるようにすることにより、その周波数の電磁波を効率よく通過するようにすることができる。また、屈曲部において、所定周波数以外のノイズとなる電磁波を通過し難くし、ノイズを低減することができる。

更に、出力導波路の端部を入力導波路から離すことができるため、出力導波路の端部を所望の位置に配置することが可能になる。これは、特許文献3の直線状の出力導波路では不可能であった。

1つの入力導波路に対して複数本の出力導波路を設けてもよい。この場合、各出力導波路毎に、入力導波路との間に共振器を設ける。各共振器が異なる周波数の電磁波に共振することにより、異なる複数の周波数が重畳した電磁波が伝播する入力導波路と各出力導波路との間で、それぞれ異なる周波数の電磁波を授受することができる。なお、特許文献3の構成によれば、出力導波路が入力導波路に平行な直線状であるため、複数本の出力導波路を設けることはできない。

出力導波路の、電磁波の出入力を行わない側に反射部を設け、共振器と反射部の間の距離を適切に設定することにより、分波効率又は合波効率を高めることができる。このような反射部は、出力導波路に行き止まり(端部)を設けることや、屈曲部を設けることにより形成することができる。ここで反射部として用いる屈曲部は、所定範囲の境界に設けた前記屈曲部であってもよく、それとは別に設け



たものであってもよい。

分波器の場合には、共振器から出力導波路に導入される電磁波のうち、反射部の反対側(入出力側)へ伝播する電磁波と、反射部で反射され入出力側へ伝播する電磁波との位相差が0になるように共振器と反射部の間の距離を設定することが望ましい。これにより、この2つの電磁波が干渉により強め合い、取り出される電磁波の強度を強くすることができる。なお、電磁波が反射部で反射される際に、反射部の構成によって位相が変化することがある。この反射の際に位相が反転する場合には、共振器と反射部の間の距離を共振波長の $(2n-1)/4$ 倍( $n$ は正の整数、以下同じ)とする。一方、反射の際に位相が変化しない場合には、この距離を共振波長の $n/2$ 倍とする。

合波器の場合には、合波器の入力導波路(分波器の出力導波路)から共振器に向かう電磁波のうち、共振器で反射される電磁波と、共振器を通過し反射部で反射される電磁波との位相差が $\pi$ になるように共振器と反射部の間の距離を設定することが望ましい。これにより、この2つの反射波が干渉により弱め合い、共振器に導入される電磁波の強度を強くすることができる。なお、反射部の場合と同様に、電磁波が共振器で反射される際にも共振器の構成によって位相が変化することがある。共振器及び反射部において共に電磁波の位相が反転するか、又は共に位相が変化しない場合には、この距離を共振波長の $(2n-1)/4$ 倍とする。また、共振器又は反射部の一方の反射においてのみ電磁波の位相が反転し、他方の反射においては位相が変化しない場合には、この距離を共振波長の $n/2$ 倍とする。

## (2) 2次元フォトニック結晶を用いた本発明に係る電磁波周波数フィルタ

ここまでに述べた電磁波周波数フィルタは、例えば誘電体導波路及びリング共振器を用いた電磁波フィルタ等を用いて構成することもできるが、電磁波の損失が少なく且つ装置の小型化を図ることができるという点で、以下に述べる2次元フォトニック結晶を用いるのが好適である。

本発明の2次元フォトニック結晶電磁波周波数フィルタは、面内方向の大きさに比べて厚さが十分薄い板状体であるスラブを本体とし、この本体に、それとは屈折率の異なる領域を周期的に配置することによって構成される2次元フォトニ

ック結晶を母体とする。この母体の２次元フォトニック結晶においては、周期的な異屈折率領域の存在によりフォトニックバンドギャップが形成され、その範囲内のエネルギーを持つ電磁波が存在できない。即ち、それに対応する周波数帯の電磁波は本体を通過することができない。本体の材料としては、例えばSiやInGaAsPを用いることができる。異屈折率領域とは、本体とは異なる屈折率を有する材料からなる領域であるが、典型例として前記特許文献１に記載された円柱孔がある。円柱孔であれば、本体に孔を開けるだけでよく、何らかの部材を本体に配置するよりも容易に作製することができる。

本体内に周期的に配置された異屈折率領域の一部に欠陥を設けると、そこで周期性が乱される。欠陥の屈折率や大きさ等のパラメータを適切に設定することにより、フォトニックバンドギャップ中に欠陥準位が形成され、この欠陥準位のエネルギーに対応する周波数の電磁波が欠陥の位置において存在することができるようになる。この欠陥を線状に連続的に設けることにより、フォトニックバンドギャップ中の一定の周波数範囲の電磁波を透過する導波路を形成することができる。本発明においては、入力導波路と出力導波路とを、両者の距離が所定の範囲において最も小さくなるように形成する。

前記所定範囲内であって、入力導波路と出力導波路との間の異屈折率領域に点状欠陥を設ける。この点状欠陥は前記の点欠陥及びクラスタ欠陥のいずれでもよく、また、前記のアクセプタ型及びドナー型のいずれでもよい。点状欠陥の種類、大きさ、位置等のパラメータを適切に設定することにより、フォトニックバンドギャップ中に所定の欠陥準位が形成され、欠陥準位のエネルギーに対応する周波数の電磁波のみが欠陥位置において共振する。即ち、この点状欠陥が共振器となる。

この構成により、入力導波路と出力導波路との間で共振器の共振周波数を有する電磁波を授受することができる。それと共に、それ以外の周波数を有する電磁波が入力導波路と出力導波路との間で直接授受されることを防ぐことができる。

共振器から結晶面に垂直な方向に電磁波が漏れて損失となることを抑制するために、共振器は異屈折率領域を欠損させたドナー型点状欠陥であることが望ましい。

入力導波路又は出力導波路の前記所定範囲の境界に屈曲部を設けることにより、両導波路の距離が所定の範囲において最も小さくなるようにすることができる。この屈曲部における異屈折率領域の屈折率、周期、形状、大きさのうち少なくとも1つのパラメータを調節することによって、この屈曲部の透過周波数帯域を制御することができる。これを利用して、この屈曲部において、共振器の共振周波数を有する電磁波を通過し易く、それ以外の周波数の電磁波を通過し難くすることができる。これにより屈曲部は、出力導波路中の所定周波数以外のノイズとなる電磁波を低減する役割を果たす。

2次元フォトニック結晶においても前記と同様に、出力導波路の電磁波の出力側の反対側に端部や屈曲部等から成る反射部を設け、共振器と反射部の間の距離を適切に設定することにより、分波効率又は合波効率を高めることができる。この距離の条件も前記と同様である。なお、電磁波が2次元フォトニック結晶の点状欠陥で反射される際には電磁波の位相は反転するため、合波器における共振器－反射部間の距離は、反射部で反射される電磁波の位相変化を考慮して設定する必要がある。

出力導波路を複数本設け、各出力導波路毎に異なる周波数の電磁波に共振する共振器を設けることにより、入力導波路と各出力導波路との間で、それぞれ異なる単一周波数の電磁波を授受することも前記と同様である。

光、圧力、熱等の外部からの作用により屈折率が変化する性質を持つ材料がある。例えば、InGaAsP系やInGaAlAsP系等の半導体において、量子井戸のバンドファイリング効果によって、レーザを照射することにより電荷密度が変化し、屈折率が変化するものが存在する。このような材料を共振器(点状欠陥)の一部又は全部に用いると、外部作用による屈折率の変化に伴い共振器における共振周波数が増加する。これにより、外部作用印加中のみ所定の周波数の電磁波を入力導波路と出力導波路との間で授受するようにすることができる。それとは逆に、外部作用印加中には所定周波数の電磁波を授受しないようにすることもできる。これらは、外部作用により出力導波路への取り出し(分波器の場合)又は導入(合波器の場合)をON/OFFするスイッチの役割を果たす。更に、外部作用の強さを調節することによって、授受する電磁波の周波数を制御することもできる。

出力導波路を複数本設け、各共振器毎にこれらの屈折率可変部材を設けることにより、電磁波の授受を行う出力導波路を外部作用の印加により選択することができる。複数の出力導波路においてそれぞれ異なる共振周波数の共振器を導波路近傍に設ければ、外部作用により出力導波路を選択し、出力電磁波の周波数を選択することができる。それに対して、複数の出力導波路に同一共振周波数の共振器を導波路近傍に設ければ、同一周波数の出力電磁波を異なる出力導波路から出力することができる。

前記のように、結晶面に垂直な方向に共振器から電磁波が漏れることは損失となるため抑制することが望ましいが、意図的に共振器から電磁波をわずかに漏洩させることが有用である場合もある。例えば、漏洩した電磁波を測定することにより、入力導波路と出力導波路との間で授受される電磁波の強度を測定することができる。

### (3) 面内ヘテロ構造 2次元フォトニック結晶を用いた本発明に係る電磁波周波数フィルタ

特許文献2において提案された面内ヘテロ構造 2次元フォトニック結晶を用いて、本発明の電磁波周波数フィルタを以下のように構成する。本体を、分合波する周波数の種類の数と同じ数の領域に分ける。この領域を禁制帯領域と呼ぶ。各禁制帯領域毎に異なる周期で異屈折率領域を配置し、共通の禁制帯領域を形成するようにする。禁制帯領域の全てを通るように異屈折率領域の欠陥を線状に連続的に設けることによって、入力導波路を形成する。各禁制帯領域毎に、入力導波路との距離が所定の範囲において最も小さくなるように出力導波路を設ける。各出力導波路と入力導波路との間の前記所定範囲内に点状欠陥(共振器)を設ける。この点状欠陥は前記と同様にドナー型点状欠陥であることが望ましい。共振周波数は異屈折率領域の周期に依存するため、各禁制帯領域毎に異屈折率領域の周期を設定することによって、各出力導波路に導入される(分波器の場合)電磁波の周波数を制御することができる。

更に、入力導波路において電磁波が伝播する方向に、共振周波数の昇順又は降順に禁制帯領域が並ぶようにすることが望ましい。共振周波数の昇順に禁制帯領

域を並べる場合にはその順に異屈折率領域の周期を小さくし、降順に禁制帯領域を並べる場合にはその順に異屈折率領域の周期を大きくする。これにより、各禁制帯領域における入力導波路の透過周波数帯域の一部が、重畳波の伝播方向に隣接する禁制帯領域の入力導波路透過周波数帯域には含まれないようにすることができる。各禁制帯領域毎に、この一部透過周波数帯域に含まれる周波数を共振周波数とする共振器を設ける。これにより、分波器において、点状欠陥の共振周波数に対応する電磁波のうち点状欠陥に導入されることなく通過した電磁波は、隣接禁制帯領域との境界において全反射され、再びその点状欠陥に戻る。そのため、この共振器を通して出力導波路に導入される電磁波の割合を高くし、分波効率を向上することができる。合波器においても同様に効率を向上することができる。

面内ヘテロ構造 2 次元フォトニック結晶においても前記と同様に、出力導波路の電磁波の出入力側の反対側に反射部を設け、共振器と反射部の間の距離を適切に設定することにより、分波効率又は合波効率を高めることができる。この距離の条件も前記と同様である。この場合の反射部は、前記の出力導波路の端部や屈曲部等から成るものに加えて、その共振器の共振周波数の電磁波を透過しない隣接禁制帯領域との境界まで出力導波路を設け、その境界を反射部としたものでもよい。

外部作用により屈折率が変化する材料を共振器に用いることにより出力導波路への電磁波の取り出し又は導入を ON/OFF することができること、及び共振器からの電磁波の漏れを検出することによって入力導波路と各出力導波路との間で授受される電磁波の強度を検出することができることは、面内ヘテロ構造 2 次元フォトニック結晶電磁波周波数フィルタに対しても同様に適用することができる。

本発明のように、共振器の存在する所定の範囲内では入力導波路と出力導波路の間の距離を近くし、それ以外では両者の距離を遠くすることにより、高い効率で、所定の周波数の電磁波を共振器を介して入力導波路と出力導波路との間で授受することができる。それと共に、所定周波数以外の電磁波を両導波路間で授受することを防ぐことができる。また、本発明では出力導波路の端部を入力導波路

から離すことができるため、出力導波路の端部を所望の位置に配置することが可能になり、所定周波数の電磁波を所望の位置に出力することができる。

この電磁波周波数フィルタは、2次元フォトニック結晶を用いて構成することが望ましい。特に、共振器にドナー型点状欠陥を用いることにより、入力導波路と出力導波路との電磁波の授受の際に共振器から外部へ電磁波が漏れて損失となることを防ぐことができる。また、面内ヘテロ構造2次元フォトニック結晶を用い、入力導波路を透過する所定周波数の電磁波を禁制帯領域境界において反射させることにより、共振器に導入される電磁波の強度を向上させ、入力導波路と出力導波路との授受の効率を向上させることができる。

#### 図面の簡単な説明

第1図 本発明に係る電磁波周波数フィルタの一実施例である、2次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの模式図。

第2図 第1図の電磁波周波数フィルタにおける電磁波の分波を説明する図。

第3図 異なる周波数を有する複数種類の電磁波の取り出し又は導入を行う、2次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの一実施例の模式図。

第4図 所定の周波数を有する電磁波を所望の出力導波路へ出力するスイッチ機能を有する、2次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの一実施例の模式図。

第5図 本発明に係る電磁波周波数フィルタの一実施例である、面内ヘテロ構造2次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの一構成例の模式図。

第6図 第5図の電磁波周波数フィルタにおける電磁波の分波を説明する図。

第7図 第5図の電磁波周波数フィルタにおける入力導波路の透過周波数帯域と共振周波数について禁制帯領域間の関係を示す模式図。

第8図 出力導波路の屈曲部の空孔のパラメータを調節する一例を示す模式図。

第9図 第1図及び第8図における出力導波路の屈曲部の透過率を計算した結果を示すグラフ。

第10図 出力導波路と共振器の間の距離による、各導波路の端部における共

振器の共振波長を有する電磁波の強度を計算した結果を示すグラフ。

発明を実施するための最良の形態

本発明に係る電磁波周波数フィルタの一実施例として、第1図に2次元フォトニック結晶を用いた電磁波(光)周波数フィルタの一構成例を示す。本体11に、異屈折率領域である空孔12を三角格子状に周期的に配置する。空孔12を線状に欠損させることにより入力導波路13を形成する。同様に空孔12を線状に欠損させることによって、所定範囲18においては入力導波路13と平行に、それ以外の範囲においては入力導波路13から離れるように出力導波路14を形成する。出力導波路14の一方の端には外部導波路16を接続する。外部導波路16には、例えば本体11と同じ材料からなる細線導波路を用いることができる。出力導波路14の他方の端には、空孔12を設ける(空孔12の欠損を設けない)ことにより終端部172を設ける。終端部172が所定範囲18の一方の端となる。所定範囲18の他方の端に、出力導波路14の屈曲部171を形成する。所定範囲18内であって入力導波路13及び出力導波路14の間に点状欠陥15を形成する。ここでは、直線状に3個の空孔を欠損させることにより形成される直線状ドナー型クラスタ欠陥を用いる。

第1図の電磁波周波数フィルタの動作を、第2図を用いて説明する。入力導波路13には複数の周波数 $f_1, f_2, \dots, f_n$ が重畳した電磁波が伝播する。このうち、点状欠陥15の共振周波数 $f_k$ の電磁波が、点状欠陥15を介して出力導波路14に導入される。出力導波路14に導入された電磁波は、屈曲部171を経て外部導波路16に取り出される。

この構成においては、入力導波路13と出力導波路14とが前記所定範囲18以外の範囲では近接しないようにすることにより、2つの導波路間で所定の周波数以外の成分を含む電磁波の授受が生じることを抑制することができる。また、点状欠陥15がドナー型点状欠陥であるため、電磁波が2次元フォトニック結晶の面外に漏出し損失となることを抑制することができる。

第3図に、2次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの他の構成例を示す。第1図の電磁波周波数フィルタと同様に本体11、空孔12及び入力

導波路 1 3 を設けたフォトニック結晶に、出力導波路を複数本設け(出力導波路 1 4 1、1 4 2、...)、それらに接続して外部導波路 1 6 1、1 6 2、... を設ける。各出力導波路 1 4 1、1 4 2、... と入力導波路 1 3 との間に、それぞれ異なる共振周波数を有する点状欠陥 1 5 1、1 5 2、... を設ける。ここでは、点状欠陥 1 5 1 に直線状 3 欠陥ドナー型クラスタ欠陥を、点状欠陥 1 5 2 に三角形状 3 欠陥ドナー型クラスタ欠陥を用いる例を示す。なお、第 3 図には 2 組の出力導波路、外部導波路及び点状欠陥を示したが、これらが 3 組以上の場合であっても同様に構成することができる。

この構成によって、入力導波路 1 3 を伝播する複数の周波数  $f_1$ ,  $f_2$ , ...,  $f_n$  が重畳した電磁波のうち、各点状欠陥 1 5 1、1 5 2、... の共振周波数を有する電磁波が各点状欠陥を介して出力導波路 1 4 1、1 4 2、... に導入される。これは、異なる周波数を有する複数の電磁波を出力導波路に抽出する電磁波周波数フィルタの役割を果たす。

第 4 図に、2 次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの他の構成例を示す。第 3 図の電磁波周波数フィルタと同様に、本体 1 1、空孔 1 2、入力導波路 1 3、複数の出力導波路(1 4 3、1 4 4、...)及び外部導波路(1 6 3、1 6 4、...)を設ける。本構成例においては、全ての出力導波路 1 4 3、1 4 4、... と入力導波路 1 3 との間に、レーザを照射することにより屈折率が変化する InGaAsP 系又は InGaAlAsP 系の材料から成る同一の屈折率可変部材 1 9 3、1 9 4、... を埋め込んだ同一の点状欠陥 1 5 3、1 5 4、... を設ける。

点状欠陥 1 5 3、1 5 4 の共振周波数は、屈折率可変部材にレーザを照射しない時には  $f_1$ 、屈折率可変部材にレーザを照射する時には  $f_1'$  となり、レーザ照射の有無によって異なる。屈折率可変部材 1 9 3、1 9 4、... のいずれか 1 つにレーザを照射することによって、入力導波路 1 3 を伝播する周波数  $f_1'$  の電磁波を外部導波路 1 6 3、1 6 4、... のうちの所望の外部導波路に取り出すことができる。例えば周波数  $f_1'$  の電磁波を外部導波路 1 6 4 に取り出す場合には、屈折率可変部材 1 9 4 にレーザを照射する。この場合、入力導波路 1 3 を伝播する周波数  $f_1'$  の電磁波は、点状欠陥 1 5 3 においては共振周波数  $f_1$  がこの電磁波の周波数と異なるために出力導波路 1 4 3 に導入されることなく通過し、点状欠陥 1 5 4 におい



ては共振周波数がこの電磁波の周波数と一致するために出力導波路 1 4 4 に導入され、所望の外部導波路 1 6 4 に取り出される。このように、屈折率可変部材を埋め込んだ点状欠陥 1 5 3、1 5 4、... は、レーザの照射によって動作するスイッチの役割を果たす。

第 5 図に、面内ヘテロ構造 2 次元フォトニック結晶を用いた電磁波周波数フィルタの一構成例を示す。本体 2 1 を複数の領域(禁制帯領域)に分割し、各領域毎に異なる配列周期  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  で空孔 2 2 を配置する。ここでは 3 つの禁制帯領域 2 0 1, 2 0 2, 2 0 3 を示したが、第 5 図の上方に更に異なる禁制帯領域を設けてもよい。各禁制帯領域における空孔 3 2 の配列周期  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , ... は  $a_1 > a_2 > a_3$  ... となるようにする。全ての禁制帯領域を通過するように入力導波路 2 3 を形成する。各禁制帯領域毎に、第 1 図の電磁波周波数フィルタと同様に屈曲部を有する出力導波路 2 4 1, 2 4 2, 2 4 3, ..., 点状欠陥 2 5 1, 2 5 2, 2 5 3, ... 及び外部導波路 2 6 1, 2 6 2, 2 6 3, ... を形成する。各点状欠陥には、直線状 3 欠陥ドナー型クラスタ欠陥を用いる。

第 5 図の電磁波周波数フィルタの動作を、第 6 図を用いて説明する。入力導波路 2 3 を伝播する複数の周波数  $f_1$ ,  $f_2$ , ...,  $f_n$  が重畳した電磁波のうち、点状欠陥 2 5 1 の共振周波数  $f_{k1}$  の電磁波が、点状欠陥 2 5 1 を介して出力導波路 2 4 1 に導入される。同様に、点状欠陥 2 5 2, 2 5 3, ... の共振周波数  $f_{k2}$ ,  $f_{k3}$ , ... の電磁波が、それぞれの点状欠陥を介して出力導波路 2 4 2, 2 4 3, ... に導入される。各出力導波路に導入された電磁波は、それぞれに接続した外部導波路に取り出される。

点状欠陥がドナー型点状欠陥であることにより電磁波の面外方向への損失を抑制することができることは第 1 図の電磁波周波数フィルタと同様である。後述する禁制帯領域境界における電磁波の反射を利用する際には特に、直線状 3 欠陥ドナー型クラスタ欠陥を用いることが望ましい。

面内ヘテロ構造 2 次元フォトニック結晶においては、空孔 3 2 の配列周期に依存して、各禁制帯領域毎に入力導波路 2 3 中を伝播可能な電磁波の周波数帯域が異なる。そのため、第 7 図に示すように、周波数  $f_a$  の電磁波は、禁制帯領域 2 0 1 内の入力導波路において伝播可能な周波数帯域 3 1 1 の端部に含まれる場合に

は、禁制帯領域 2 0 2 内の入力導波路周波数帯域 3 1 2 には含まれない。この場合、禁制帯領域 2 0 1 内の入力導波路を伝播する周波数  $f_a$  の電磁波は、禁制帯領域 2 0 1 と禁制帯領域 2 0 2 との境界 2 7 1 において反射される。この  $f_a$  を共振周波数とする点状欠陥 2 5 1 を設ければ、入力導波路を伝播する周波数  $f_a$  の電磁波が点状欠陥 2 5 1 に入らずに通過しても境界 2 7 1 において反射されるため、点状欠陥 2 5 1 を介して出力導波路 2 4 1 に導入される周波数  $f_a$  の電磁波の強度を、その反射が無い場合に比べて高くすることができる。共振周波数が入力導波路の周波数帯域の端部にあれば上記の条件を満たす。前記の 3 欠損直線状ドナー型クラスタ欠陥を用いると、このような条件を満たすことができる。

点状欠陥によって電磁波が反射されることが、出力導波路に導入される電磁波の強度を弱める原因の 1 つである。境界 2 7 1, 2 7 2, 2 7 3, ... における反射により電磁波の位相が反転する場合、点状欠陥 2 5 1, 2 5 2, 2 5 3, ... と境界 2 7 1, 2 7 2, 2 7 3, ... の間の距離  $L_1, L_2, L_3, \dots$  を各点状欠陥の共振波長の  $(2n-1)/2$  倍とする。これにより、境界 2 7 1, 2 7 2, 2 7 3, ... において反射される電磁波と点状欠陥 2 5 1, 2 5 2, 2 5 3, ... によって反射される電磁波とが干渉して抑制され、出力導波路に導入される電磁波の強度を更に高めることができる。

出力導波路の所定範囲(例えば第 1 図の 1 4 1)を通過する電磁波の全てが屈曲部(例えば第 1 図の 1 7 1)を通過するとは限らない。屈曲部近傍の空孔 1 2 の周期、形状、大きさを調節することによって、屈曲部における電磁波の透過率の周波数依存性を制御することができる。その一例を第 8 図及び第 9 図に示す。第 8 図は、第 1 図の出力導波路の屈曲部 1 7 1 の直近で外側の角部にある空孔 1 2 1 の径を他の空孔の径よりも小さくしたものである。第 9 図(a)に屈曲部の空孔に関するパラメータを周囲と等しくする場合(第 1 図)、第 9 図(b)に第 8 図の場合の電磁波周波数帯域の透過率及び反射率を FDTD 法(時間領域差分法)によって計算した結果を示す。第 9 図(b)の計算においては、第 8 図の空孔 1 2 1 の半径を  $0.23a$  ( $a$  は空孔 1 2 の配列周期)、その他の空孔 1 2 の半径を  $0.29a$  とした。屈曲部の空孔の径を変化させることにより、透過率が最大となる規格化周波数(周波数に  $a/c$  ( $c$  は光速)を乗じて無次元としたもの)を  $0.271$  ((a) の場合)から  $0.267$  ((b) の場合)に

変化させることができる。これにより、前記の3欠損直線状ドナー型クラスタ欠陥の共振周波数0.267(規格化周波数)と一致させ、所定周波数の電磁波を効率よく通過するようにすることができる。

第8図の例では、共振器の共振周波数と屈曲部の最大透過率の周波数とが共に配列周期 $a$ に比例する。そのため、1つの共振周波数について共振器及び屈曲部の設計を行えば、他の共振周波数についても配列周期 $a$ を調節することにより、容易に共振器の共振周波数と屈曲部の最大透過率の周波数とを一致させることができる。これは特に、ヘテロ構造を用いる場合に、各異屈折率領域毎に屈曲部の設計を行う必要がないという点で有用である。また、このような制御は、屈曲部近傍の空孔12の他のパラメータを調節した場合にも同様に適用できる。

出力導波路の両端のうち的一方に終端部を設ける場合には、他方の端における外部との電磁波の授受の効率は、終端部と共振器の間の距離に依存する。これについて、第10図(a)に示す例を用いて計算する。入力導波路13の一方の端をポート1、他方の端をポート2、出力導波路14の電磁波の授受を行う側をポート3、終端部側をポート4とする。ポート1及びポート3においては反射率を0とする。ポート2側には例えば隣接異屈折率領域が存在する等の理由により反射率を1とする。導波路終端部であるポート4における反射率は1とする。また、ポート1～ポート3それぞれの共振器からの距離 $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ を、いずれも共振波長の $(2n-1)/4$ 倍( $n$ は正の整数)とする。ポート4と共振器の間の距離 $d_4$ が共振波長の1～1.5倍の間における共振器の共振波長を有する電磁波の強度を各ポートに対して計算した結果を第10図(b)に示す。この図より、距離 $d_4$ が共振波長の1.25倍の時、ポート3に共振器の共振波長を有する電磁波が全て出力されることがわかる。これは、出力導波路の端部と共振器の間の距離を共振波長の $(2n-1)/4$ 倍( $n$ は正の整数)の場合に対応する。

## 請求の範囲

1. a) 電磁波を導波する入力導波路と、  
b) 電磁波を導波する導波路であって、その長手方向の所定の範囲における前記入力導波路との距離が前記所定範囲外における前記入力導波路との距離よりも小さくなるように配置される出力導波路と、  
c) 前記入力導波路と出力導波路との間の前記所定範囲内に配置され、所定の周波数の電磁波に共振する共振器と、  
を備えることを特徴とする電磁波周波数フィルタ。
2. 前記出力導波路を複数本備え、各出力導波路と前記入力導波路との間であって且つ所定範囲内に、各出力導波路毎に所定の周波数の電磁波に共振する共振器を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の電磁波周波数フィルタ。
3. 前記各出力導波路毎の共振器の共振周波数が各々異なることを特徴とする請求項 2 に記載の電磁波周波数フィルタ。
4. 前記入力導波路及び出力導波路のいずれか一方又は両方が前記所定範囲の端に屈曲部を有することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の電磁波周波数フィルタ。
5. 前記共振器の共振周波数が前記屈曲部の高透過率周波数帯域に含まれることを特徴とする請求項 4 に記載の電磁波周波数フィルタ。
6. a) スラブ状の本体に周期的に配列された複数の、本体とは屈折率の異なる領域を設けた 2 次元フォトニック結晶と、  
b) 前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成される入力導波路と、  
c) 前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成される導波路であって、その長手方向の所定の範囲における前記入力導波路との距離が前記所定範囲外における前記入力導波路との距離よりも小さくなるように配置される出力導波路と、  
d) 前記入力導波路と出力導波路との間の前記所定範囲内に配置され、所定の周波数の電磁波に共振する点状欠陥から成る共振器と、

を備えることを特徴とする電磁波周波数フィルタ。

7. 前記点状欠陥が異屈折率領域を欠損させることにより形成されるドナー型点状欠陥であることを特徴とする請求項6に記載の電磁波周波数フィルタ。

8. 前記出力導波路を複数本備え、各出力導波路と前記入力導波路との間であって且つ所定範囲内に、各出力導波路毎に所定の周波数の電磁波に共振する共振器を備えることを特徴とする請求項6又は7に記載の電磁波周波数フィルタ。

9. 前記各出力導波路毎の共振器の共振周波数が各々異なることを特徴とする請求項8に記載の電磁波周波数フィルタ。

10. a) スラブ状の本体内に2以上の禁制帯領域を設け、各禁制帯領域内において、各禁制帯領域毎に異なる周期で周期的に本体に配列された複数の、本体とは屈折率の異なる領域を設けた面内ヘテロ構造2次元フォトニック結晶と、

b) 各禁制帯領域内において前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成され、全禁制帯領域を通過する入力導波路と、

c) 各禁制帯領域毎に前記異屈折率領域の欠陥を線状に設けることにより形成される導波路であって、その長手方向の所定の範囲における前記入力導波路との距離が前記所定範囲外における前記入力導波路との距離よりも小さくなるように配置される出力導波路と、

d) 前記入力導波路と出力導波路との間の前記所定範囲内に配置され、所定の周波数の電磁波に共振する点状欠陥から成る共振器と、

を備えることを特徴とする電磁波周波数フィルタ。

11. 前記点状欠陥が異屈折率領域を欠損させることにより形成されるドナー型点状欠陥であることを特徴とする請求項10に記載の電磁波周波数フィルタ。

12. 各禁制帯領域における入力導波路の透過周波数帯域の一部が、その禁制帯領域の一方の側にある全ての禁制帯領域の入力導波路透過周波数帯域に含まれず、それとは反対側にある全ての禁制帯領域の入力導波路透過周波数帯域に含まれ、各禁制帯領域に設けられる前記共振器における共振周波数が、前記一部の透過周波数帯域に含まれることを特徴とする請求項10又は11に記載の電磁波周波数フィルタ。

13. 前記各禁制帯領域において、前記一方の側の隣接禁制帯領域との境界面とその禁制帯領域に属する共振器の間の距離を、その禁制帯領域の共振器の共振周波数を有しこの共振器で反射される電磁波と、同周波数でこの点状欠陥を通過し禁制帯領域境界面で反射される電磁波との位相差が $\pi$ となるように、設定したことを特徴とする請求項12に記載の電磁波周波数フィルタ。

14. 前記点状欠陥が直線状に隣接する3個の異屈折率領域を欠損させることによって形成される直線状ドナー型クラスタ欠陥であることを特徴とする請求項12又は13に記載の電磁波周波数フィルタ。

15. 前記入力導波路及び出力導波路のいずれか一方又は両方が前記所定範囲の端に屈曲部を有することを特徴とする請求項6～14のいずれかに記載の電磁波周波数フィルタ。

16. 前記共振器の共振周波数が、前記屈曲部の高透過率周波数帯域に含まれることを特徴とする請求項15に記載の電磁波周波数フィルタ。

17. 前記屈曲部における異屈折率領域が屈折率、周期、形状又は大きさの少なくともいずれかにおいて他の異屈折率領域と異なることを特徴とする請求項16に記載の電磁波周波数フィルタ。

18. 少なくとも1つの前記共振器の一部又は全部が、外部からの作用により屈折率が変化する材料から成ることを特徴とする請求項6～17のいずれかに記載の電磁波周波数フィルタ。

19. 前記出力導波路に前記共振器の共振周波数を有する電磁波を反射する反射部を設け、共振器から出力導波路に導入される電磁波と、反射部により反射される電磁波との位相差が0になるように共振器と反射部の間の距離を設定したことを特徴とする請求項1～18のいずれかに記載の電磁波周波数フィルタ。

20. 前記出力導波路に前記共振器の共振周波数を有する電磁波を反射する反射部を設け、共振器により反射される電磁波と、反射部により反射される電磁波との位相差が $\pi$ になるように共振器と反射部の間の距離を設定したことを特徴とする請求項1～18のいずれかに記載の電磁波周波数フィルタ。

21. 前記反射部が、出力導波路の端部、前記所定範囲の端に設けた屈曲部、所定範囲の端以外の位置に設けた屈曲部、及び前記一方の側の隣接禁制帯領域

との境界面のいずれかから成ることを特徴とする請求項 19 又は 20 に記載の電磁波周波数フィルタ。

22. 少なくとも 1 つの前記共振器が、共振する電磁波の一部を外部へ放射することを特徴とする請求項 1 ～ 21 のいずれかに記載の電磁波周波数フィルタ。

Fig. 1

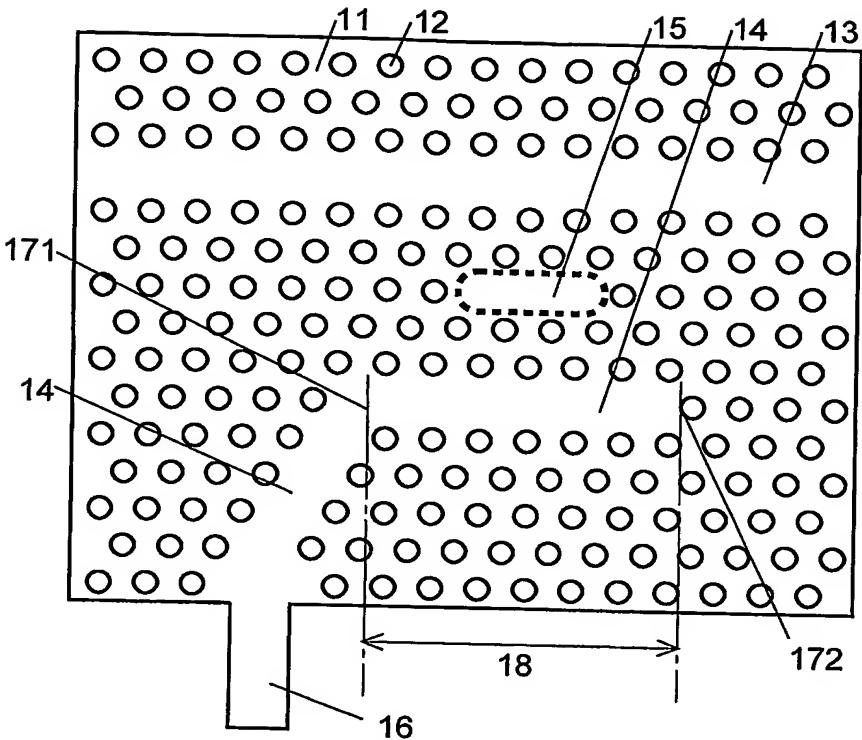


Fig. 2

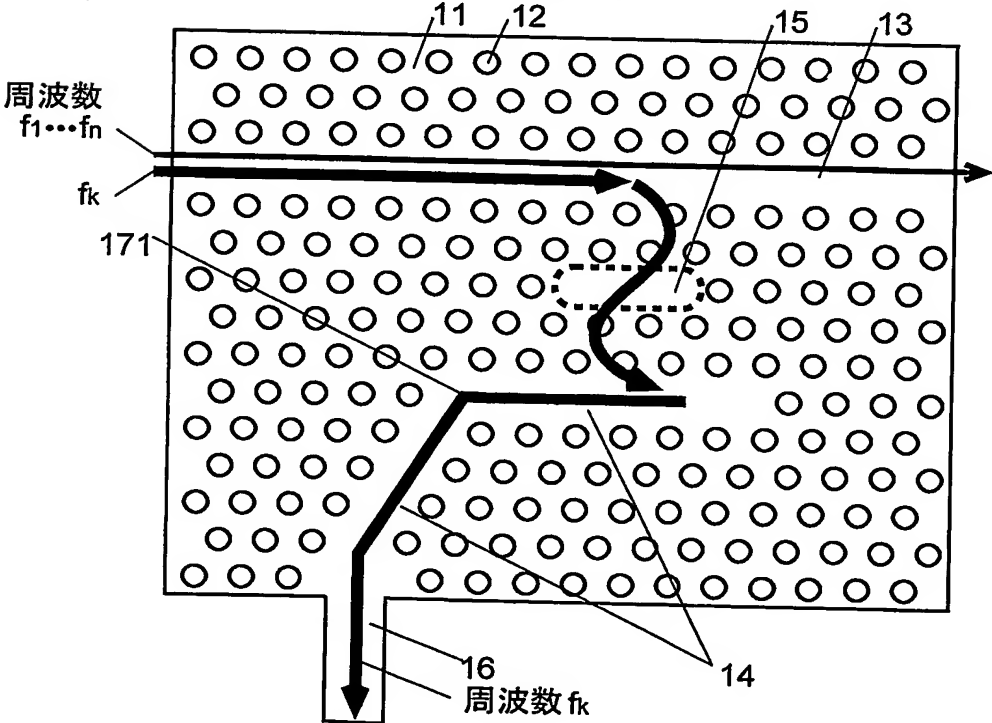




Fig. 3

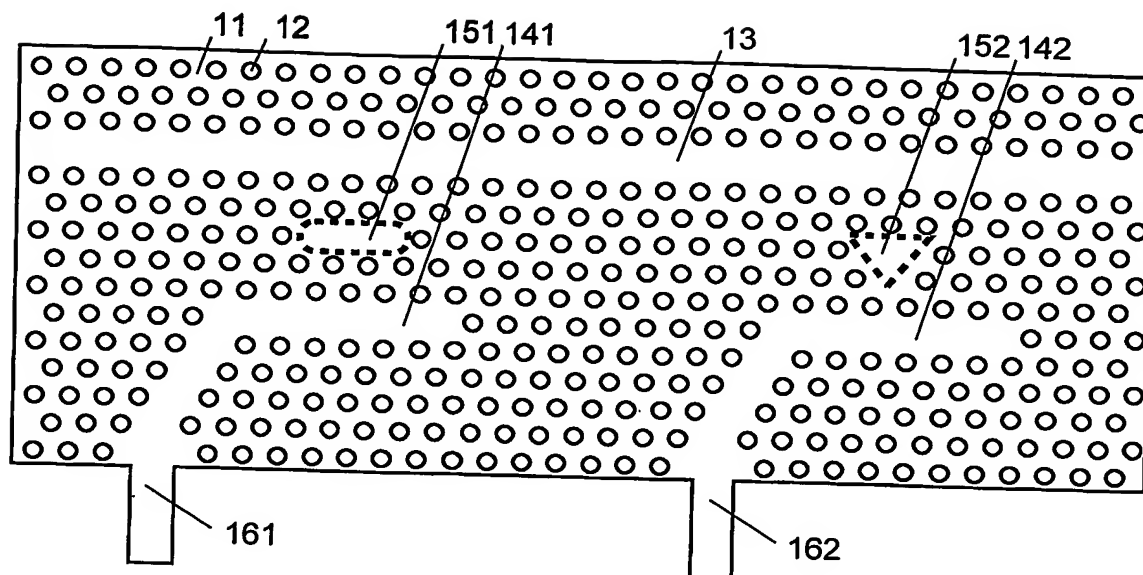


Fig. 4

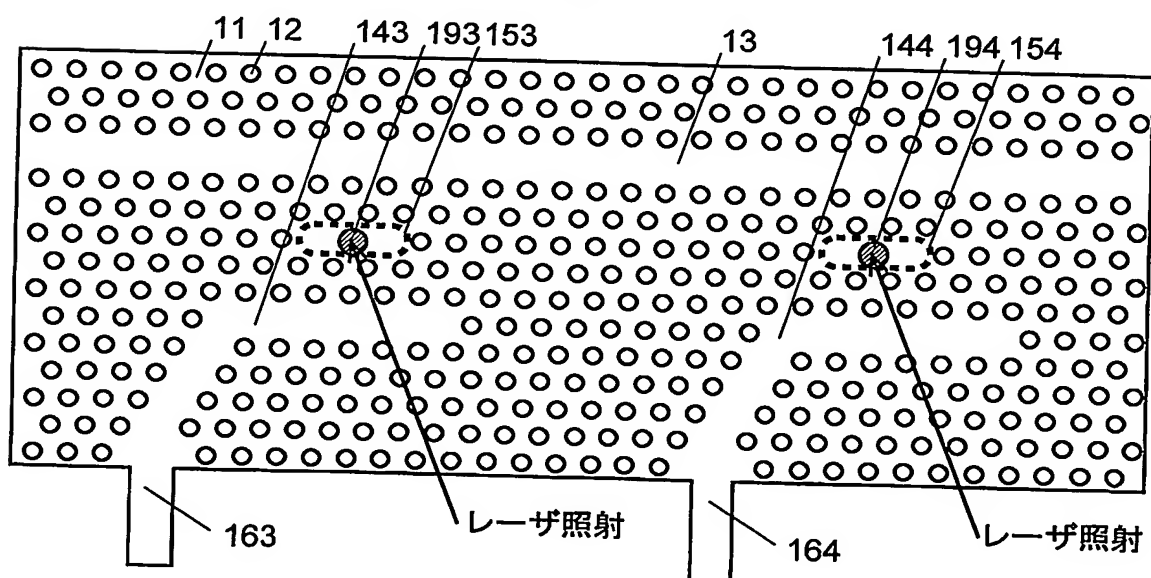


Fig. 5

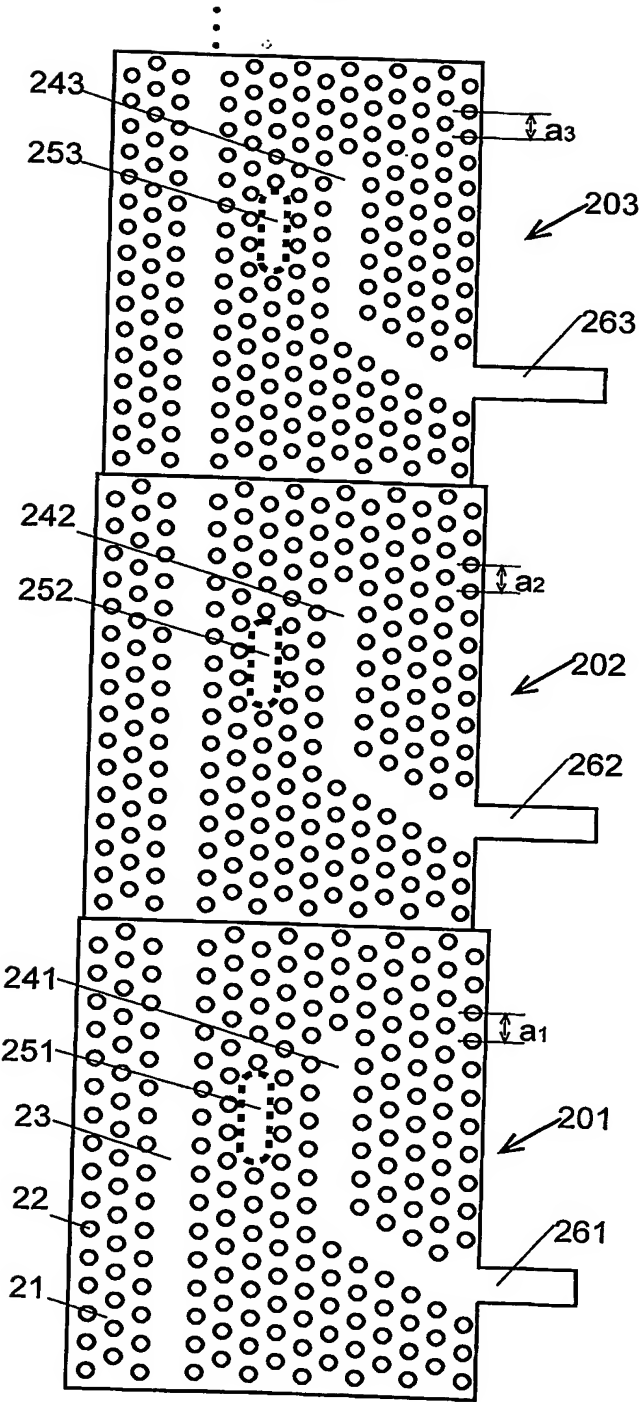


Fig. 6

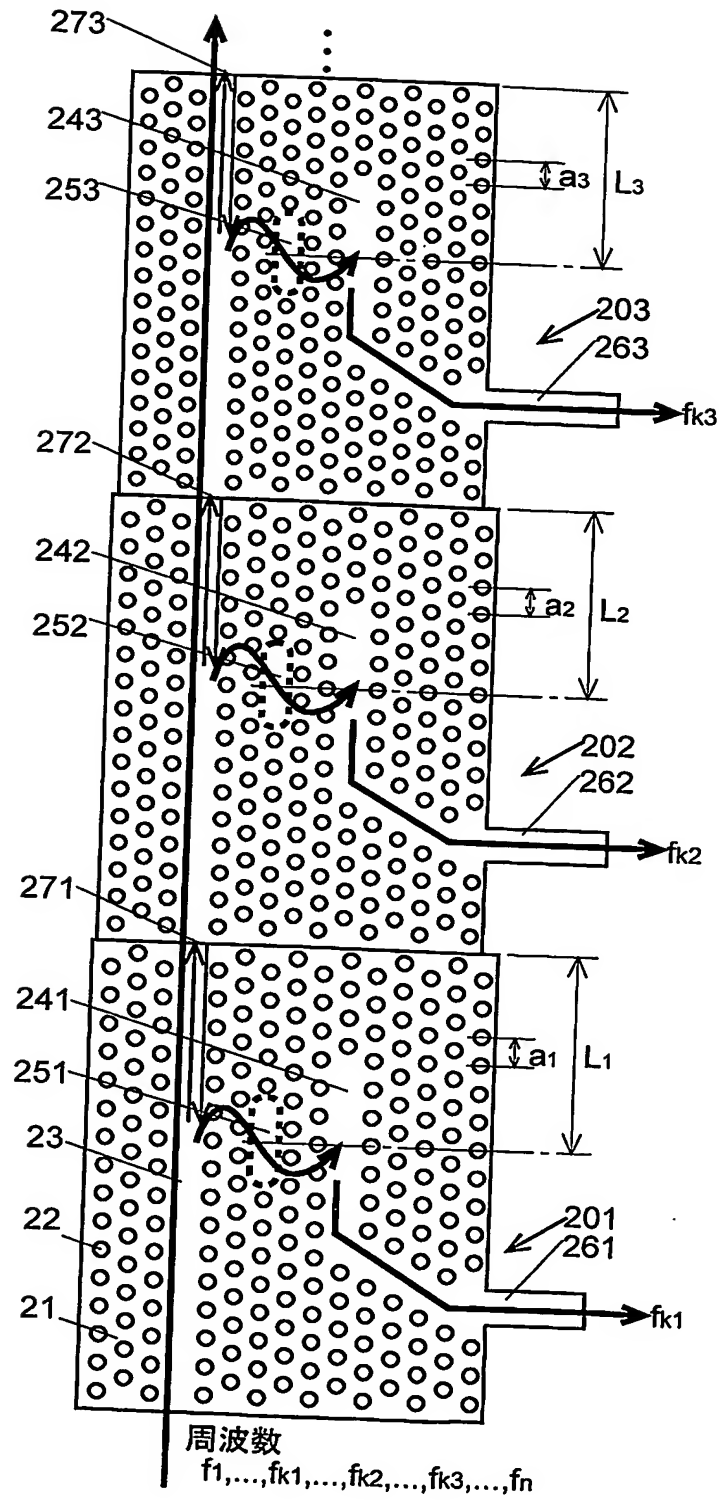


Fig. 7

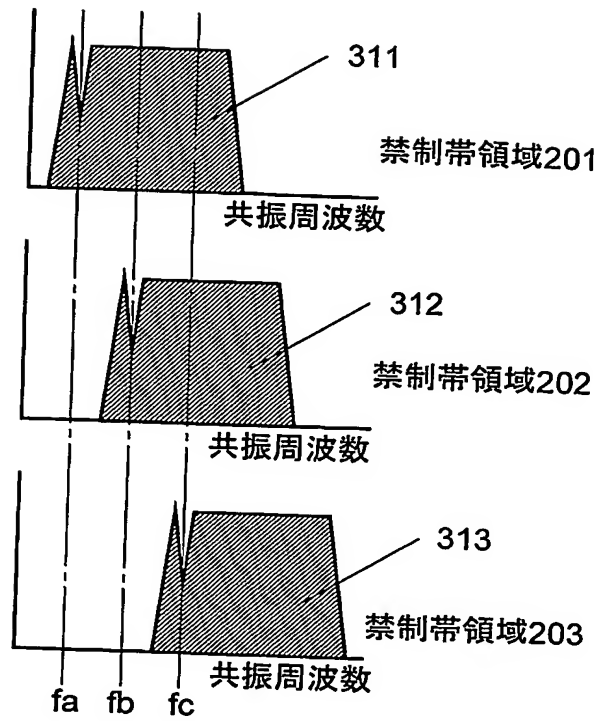


Fig. 8

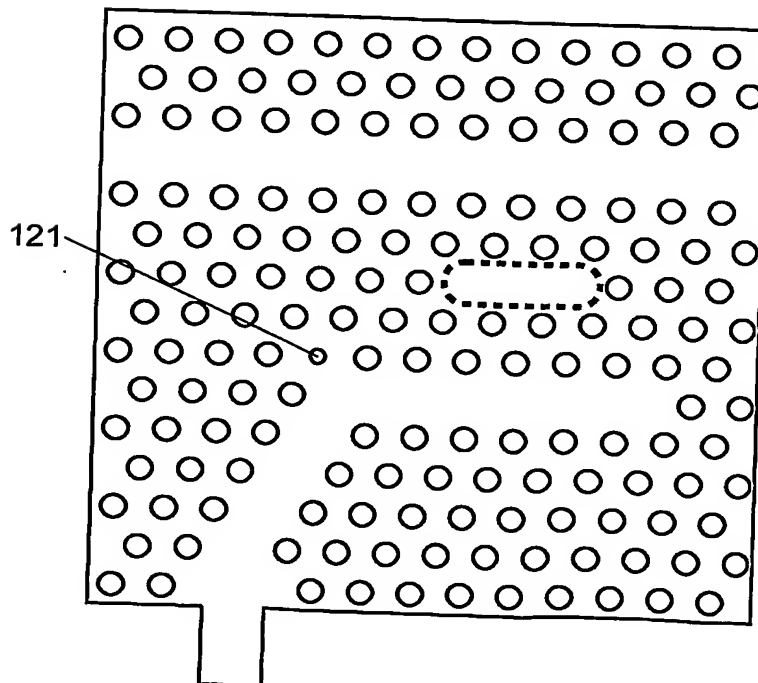


Fig. 9

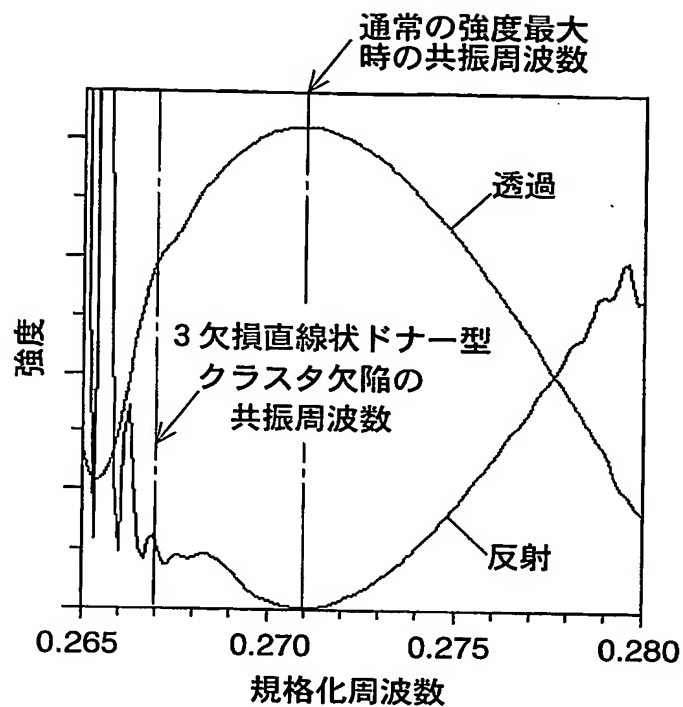
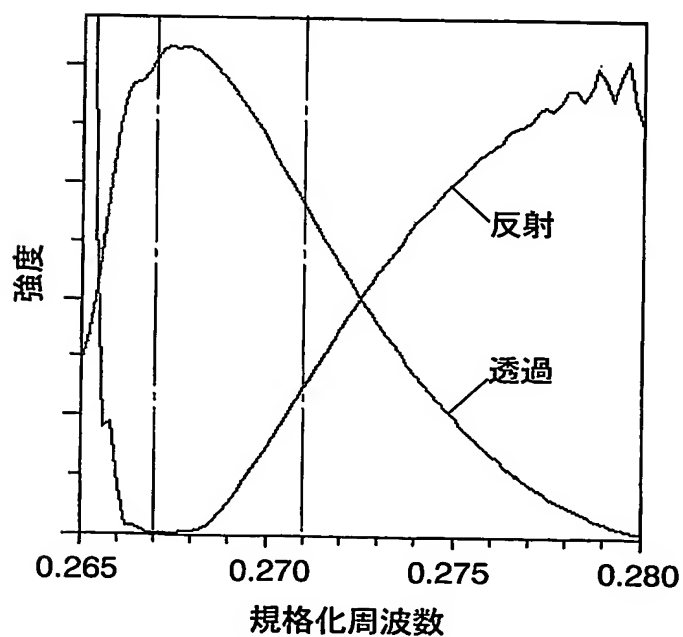
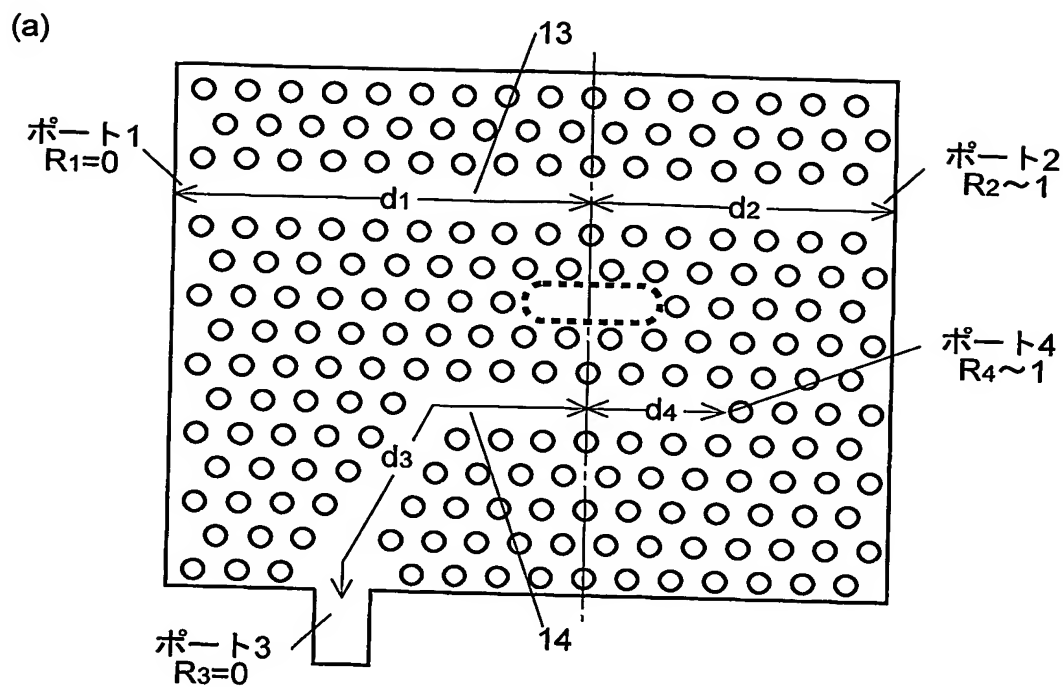
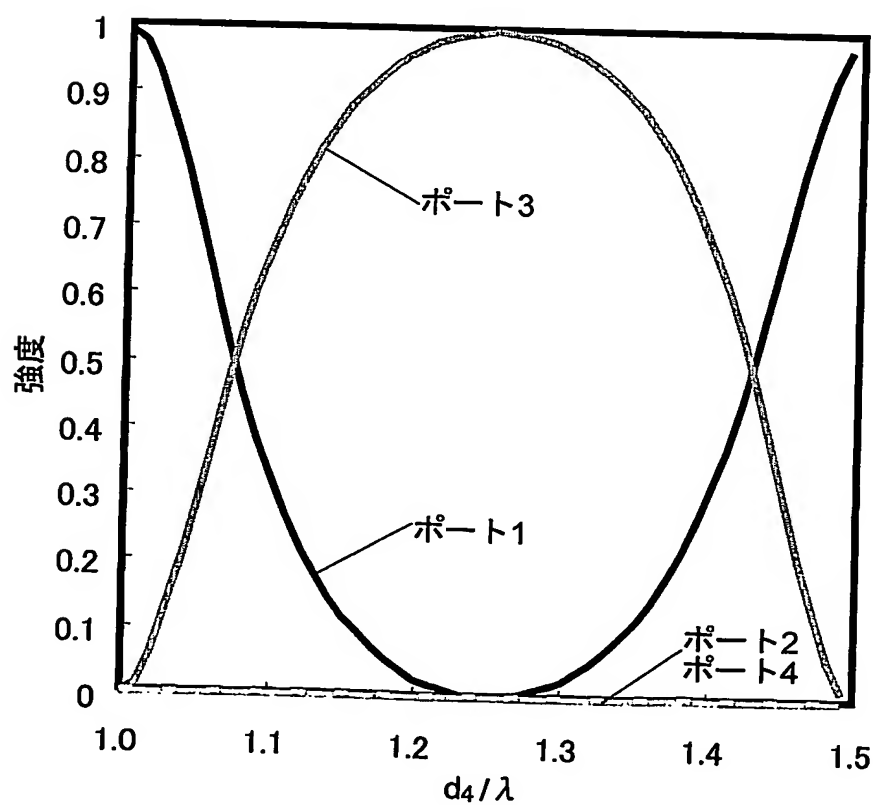
(a) 曲げ部空孔の半径  $r=0.29$  (通常)(b)  $r=0.23$ 

Fig. 10



(b)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/16515

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 98/53535 A1 (Northwestern University), 26 November, 1998 (26.11.98), Page 19, line 14 to page 20, line 30; Fig. 9 & EP 993693 A1 & JP 2001-526000 A & US 5926496 A & US 6009115 A	1-5 6-17
X	WO 01/020379 A1 (Ho, S-T), 22 March, 2001 (22.03.01), Page 64, line 4 to page 66, line 12; page 85, line 1 to page 87, line 13; Fig. 6; G-3, 7F-3 & US 6473541 B1	1, 6
X	JP 5-323390 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 07 December, 1993 (07.12.93), Figs. 5 to 8 (Family: none)	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
05 April, 2004 (05.04.04)

Date of mailing of the international search report  
20 April, 2004 (20.04.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16515

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 98/57207 A1 (Massachusetts Institute of Technology), 17 December, 1998 (17.12.98), & EP 988569 A1 & JP 2001-508887 A & US 6101300 A & US 6130969 A & US 6512866 B1	6-17
Y	So Hoshoku et al., 2002 Nen Shuki Dai 63 Kai Extended Abstracts; the Japan Social of Applied Physics, 24 September, 2002 (24.09.02), separate Vol. 3, page 916, 25p-YA-17	8-17
P;Y	So Hoshoku et al., 2003 Nen Shunki Dai 50 Kai Extended Abstracts; the Japan Social of Applied Physics, 27 March, 2003 (27.03.03), separate Vol. 3, page 1137, 29a-YN-4	12-14
Y	A. Talneau et al., Applied Physics Letters, 28 January, 2002 (28.01.02), Vol.80, No.4, pages 547 to 549	17
Y	I. Ntakakis et al., 2002 IEEE/LEOS Annual Meeting Conference Proceedings, 10-14, November 2002, Vol.2, pages 518 to 519	17
P,X P,Y	Hitomichi TAKANO et al., 2003 Nen Shuki Dai 64 Kai Extended Abstracts; the Japan Social of Applied Physics, 30 August, 2003 (30.08.03), separate Vol.3, page 951, 2a-ZM-9	1-16 17
P,A	WO 03/081304 A1 (Japan Science and Technology Corp.), 02 October, 2003 (02.10.03), & JP 2003-279764 A	1-17
A	EP 1136853 A1 (TDK Corp.), 26 September, 2001 (26.09.01), & JP 2001-272555 A & US 2002/0009277 A1	1-17



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16515

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The international search has revealed that the technical feature mentioned in claim 1 is not novel since it is disclosed in document 1: WO 98/53535 A1, document 2: WO 01/020379 A1, and document 3: JP 5-323390 A. The international search has also revealed that the technical feature mentioned in claim 6 is also not novel since it is disclosed in document 2: WO 01/020379 A1.

Consequently, the technical feature mentioned in claim 1 makes no contribution over the prior art, and thus no technical relationship within the meaning of PCT Rule 13 can be seen between claims [1-3] and claims [4, 5], [6, 7], [8, 9], [10-14], [15-17], [18], (Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☒ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.: 1-17
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP03/16515

Continuation of Box No. II of continuation of first sheet(1)

[19, 21], [20], [22]. Therefore, this international application does not satisfy the requirement of unity of invention.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	WO 98/53535 A1 (Northwestern University) 1998.11.26 page 19 line 14 - page 20 line 30, Fig.9 &EP 993693 A1 &JP 2001-526000 A &US 5926496 A &US 6009115 A	1-5 6-17
X	WO 01/020379 A1 (Ho, S -T) 2001.03.22 page 64 line 4 - page 66 line 12, page 85 line 1 - page 87 line 13, Fig.6 G-3, 7F-3 &US 6473541 B1	1,6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.04.04

国際調査報告の発送日

20.4.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

日夏 貴史

2K

9411

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 5-323390 A (日本電信電話株式会社) 1993.12.7 図 5-8 (ファミリーなし)	1
Y	WO 98/57207 A1 (Massachusetts Institute of Technology) 1998.12.17 &EP 988569 A1 &JP 2001-508887 A &US 6101300 A &US 6130969 A &US 6512866 B1	6-17
Y	宋奉植 et.al., 2002 年秋季第 63 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2002 年 9 月 24 日発行, 第 3 分冊 p.916, 25p-YA-17	8-17
P Y	宋奉植 et.al., 2003 年春季第 50 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, 2003 年 3 月 27 日発行, 第 3 分冊 p.1137, 29a-YN-4	12-14
Y	A.Talneau et.al., Applied Physics Letters, 28 January 2002, Vol.80 No.4 pp.547-549	17
Y	I. Ntakis et.al., 2002 IEEE/LEOS Annual Meeting Conference Proceedings, 10-14 Nov. 2002, Vol. 2 pp.518-519	17
P X P Y	高野仁路 et.al., 2003 年秋季第 64 回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2003 年 8 月 30 日発行, 第 3 分冊 p.951, 2a-ZM-9	1-16 17
P A	WO 03/081304 A1 (Japan Science and Technology Corporation) 2003.1.02 &JP 2003-279764 A	1-17
A	EP 1136853 A1 (TDK Corporation) 2001.09.26 &JP 2001-272555 A &US 2002/0009277 A1	1-17

## 第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1に記載された事項は、文献1:WO 98/53535 A1、文献2:WO 01/020379 A1、文献3:JP 5-323390 Aに開示されているから、新規でないことが明らかとなった。また、請求の範囲6に記載された事項は、文献2:WO 01/020379 A1に開示されているから、新規でないことが明らかとなった。

この結果、請求の範囲1に記載された事項は先行技術の域を出ないから、請求の範囲[1-3]と請求の範囲[4-5][6-7][8-9][10-14][15-17][18][19,21][20][22]との間にPCT規則13の意味における技術的な関連を見い出すことはできないので、単一性の要件を満たしていない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。  
1-17
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。